

橋梁構造および部材の動的終局強度に関する基礎的研究

著者	中島 章典
号	923
発行年	1982
URL	http://hdl.handle.net/10097/9659

氏 名	なか じま あきのり 中 島 章 典
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭和 58 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学 位 論 文 題 目	橋梁構造および部材の動的終局強度に関する基礎 的研究
指 導 教 官	東北大学教授 倉 西 茂
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 倉 西 茂 東北大学教授 佐 武 正雄 東北大学教授 尾 坂 芳 夫

論 文 内 容 要 旨

今日、構造物は長大化，高層化と共に合理的な設計が要求されている。それ故，構造物を経済的に設計する上でも，確かな安全性の指標に基づいていることが必要なために，構造物の終局強度を把握し，それを基準として設計が行われなければならない。橋梁構造においては，限界状態設計を行う立場から，静的荷重を受ける柱部材およびアーチ橋などの終局強度を求める解析的，実験的研究が数多く行われている。これに対して，風荷重や地震力などの動的荷重を受ける構造物の動的終局強度に関する研究は少ない。従って，動的荷重を受ける構造物の限界状態設計を確立するためには，今後解明されるべき多くの問題が残されている。

そこで本論文では，橋梁構造において最も基本的な要素の 1 つである。トラス橋などの柱部材が周期性軸力を受ける場合の動的終局強度，および軸直角方向周期外力を受ける場合の動的終局強度を，幾何学的非線形性，材料非線形性を考慮した動的応答計算法により検討している。また，アーチが橋軸方向周期外力を受ける場合の動的終局強度を検討している。これらの結果に基づき，周期性荷重を受ける柱部材およびアーチの基礎的な動的強度特性を明らかにすることを目的としている。

第 1 章 序 論

構造物の動的終局強度に関する問題の概要，従来の研究について述べ，本研究の目的および内容を示している。

第2章 解析方法

本章では、橋梁構造および部材の動的終局強度を追跡する際に必要な、幾何学的非線形性、材料非線形性を考慮した動的応答計算法の一定式化について述べている。この計算法は、修正荷重増分法と Newmark の β 法を組合せた動的応答計算法である。また、材料非線形性として鋼材の Bauschinger 効果の影響を考慮した応力・ひずみ関係を数値計算に適用する方法を示している。

第3章 動的応答解析法の精度の検討

第2章で示した動的応答計算法を用いて動的応答解析を行なう場合の計算法の精度について述べている。まず、2自由度弾塑性系を例として、動的応答計算法による計算解を厳密解と比較し、計算法の精度を数値的に検討している。その結果、数値積分の時間刻みを小さくするに従って、計算解は厳密解に収束することを確認した。また、周期性軸力を受ける柱部材の動的応答解析において、計算結果と数値積分の時間刻みの関係を検討し、第4章以降の柱部材およびアーチの動的応答解析における数値積分の時間刻みの大きさを決定している。この時間刻みの大きさは構造物の1次固有周期の $\frac{1}{64}$ とする。このとき、弾塑性応答解析において注目される変位応答の両振幅での誤差は、最大10%程度である。

第4章 周期性軸力を受ける部材の動的終局強度

橋梁構造において基本的要素の1つである柱部材が、周期性軸力を受けてパラメトリック共振現象を示す場合の動的挙動を解析している。本章では、トラス橋などにおいて、静的圧縮軸力が作用して

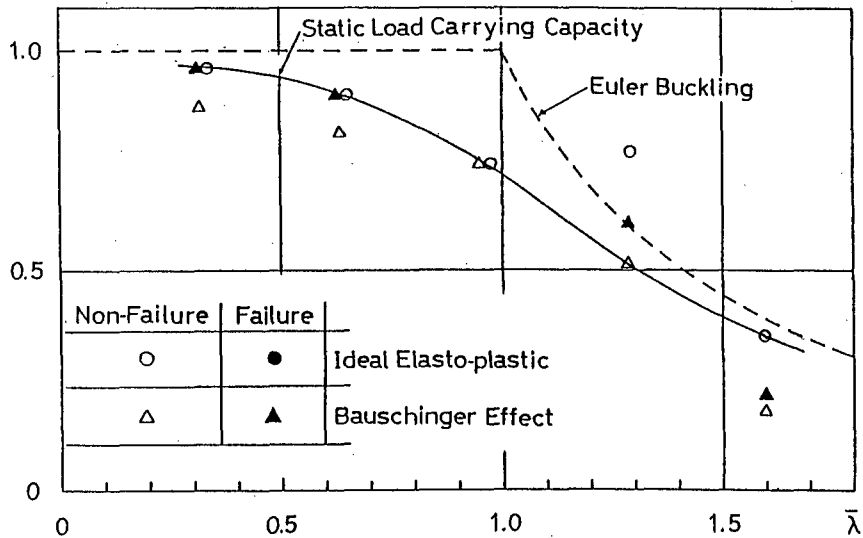


図1 動的耐荷力と静的耐荷力の比較 ($a = 0$)

いる主要圧縮部材と、静的な軸力が作用していない横構などの2次部材について、鋼材の応力・ひずみ関係を完全弾塑性型とした場合と、Bauschinger 効果を考慮した場合の動的終局強度を検討している。他に、柱部材の細長比、周期性軸力の大きさに動的強度に及ぼす影響を検討し、動的崩壊性状に対する考察も行なっている。

その結果、図1に示すように、静的圧縮軸力が作用していない場合には、周期性軸力の振幅の大きさを動的強度として、静的な最大強度と比較すると、柱部材の細長比によらず一般に動的な最大強度が静的な最大強度よりも大きいことが明らかとなった。また、パラメトリック共振現象による曲げ振動の発達のために柱断面の一部が塑性化する場合でも、柱部材が必ずしも崩壊には至らないこと、Bauschinger効果が動的な最大強度に大きく影響するのは細長比がかなり大きい場合であることがわかった。さらに、静的圧縮軸力が作用している場合には、パラメトリック共振現象による曲げ振動の発達のために、柱断面の一部が塑性化し残留変形が生じる。静的軸力作用がこの残留変形を一方に大きく助長し、ついには変形が急激に発散し柱が崩壊に至ることがわかった。図2に示すように、

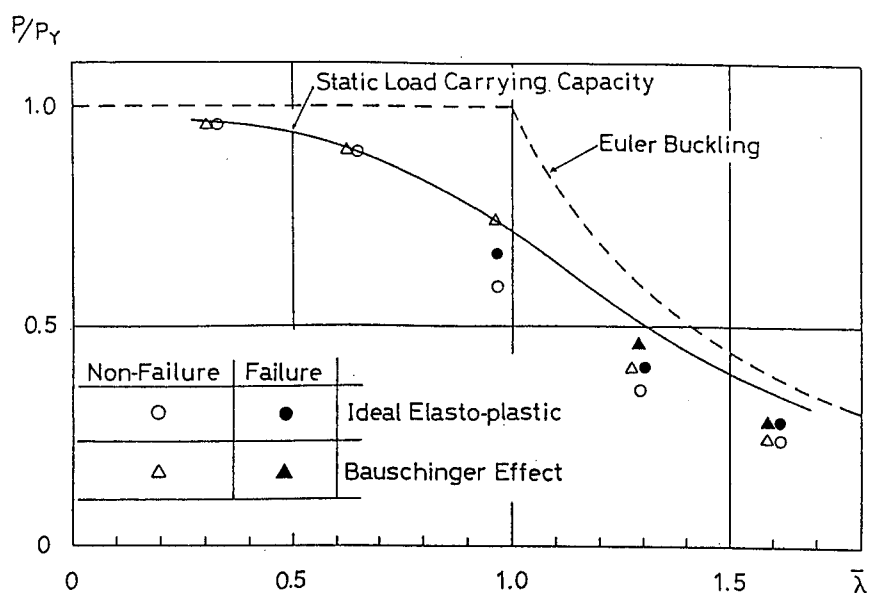


図2 動的耐荷力と静的耐荷力の比較 ($a = 0.5$)

静的圧縮軸力が作用している場合に、静的圧縮軸力と周期性軸力を加えた最大圧縮軸力を動的な強度として、静的な最大強度と比較した場合、細長比が90以上では、動的な最大強度が静的な最大強度より小さくなる場合があることが明らかにされた。

第 5 章 軸直角方向周期外力を受ける部材の動的終局強度

本章では、静的圧縮軸力が作用している柱部材に、軸直角方向周期外力が作用する場合の動的挙動を解析し、動的強度に及ぼす柱部材の細長比、静的圧縮軸力の大きさ、周期外力の大きさの影響を検討し、その動的強度特性を明らかにしている。

周期外力としては、地震力などによる慣性力が作用する場合で、周期外力の円振動数が部材の固有円振動数に等しい正弦波加速度を考え、柱部材が共振現象を示す場合とする。本章では、鋼材の応力・ひずみ関係を完全弾塑性型とした場合だけを考える。これは、第 4 章の結果から、応力・ひずみ関係に Bauschinger 効果を考慮した場合よりも、応力・ひずみ関係を完全弾塑性型とした場合の方が、柱部材の動的強度が小さくなると予想されるからである。

解析結果から、静的圧縮軸力が加えられている柱部材に、系と共振する軸直角方向正弦波加速度が作用する場合、柱断面の塑性化によって残留変形が生じると、静的圧縮軸力がこの残留変形を助長し、ついには変形が発散して柱が崩壊に至ることがわかった。この現象を説明するために、静的荷重が作用している 1 自由度曲げ振動系について検討した結果、残留変形を生じた方向に変形する場合には、静的荷重が系にエネルギーを供給するように働き、残留変形が生じた方向に変形する場合には、系からエネルギーを吸収するように作用する。そのため、振動振幅が減衰しながら残留変形が一方向にだけ大きくなることが明らかとなった。また、軸直角方向周期外力の作用によって柱部材の変形が急激に発散しはじめる場合の柱中央部の横たわみ変位は、静的圧縮軸力を受けている柱部材が静的不安定現象を示しはじめる柱中央部の横たわみ変位とあまり変わらないことがわかった。さらに、静的圧縮軸力を受けている柱部材に、系と共振する軸直角方向正弦波加速度が 10 サイクル作用する場合を基準とし、入力加速度振幅を動的強度として検討した結果を図 3 に示す。図から、細長比が大きいほど

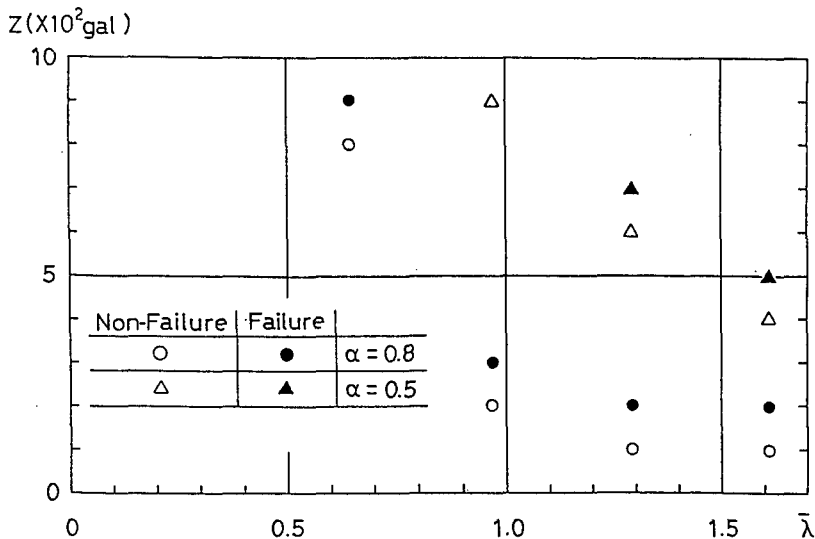


図 3 基準周期外力に対する動的強度特性

動的強度が低下し、また動的強度に及ぼす静的圧縮軸力の影響が大きいことが明らかとなった。

第 6 章 橋軸方向周期外力を受けるアーチの動的終局強度

本章では、静的な鉛直方向等分布荷重が載荷されている 2 ヒンジアーチに、橋軸方向周期外力が作用する場合の動的挙動を解析する。動的強度に及ぼすアーチの細長比、周期外力の大きさ、静的荷重の大きさの影響を検討し、アーチの基本的な動的強度特性を明らかにしている。アーチに作用する橋軸方向周期外力としては、第 5 章の場合と同様に、地震力などによる慣性力として作用する正弦波加速度を考え、その円振動数がアーチの固有円振動数に等しく、アーチが共振現象を示す場合とする。また、実際の動的荷重の例として、エル・セントロ地震波がアーチに作用する場合の動的強度特性を検討している。

その結果、静的な鉛直方向等分布荷重が載荷されているアーチに、橋軸方向周期外力が作用した場合に示すアーチの動的崩壊性状は、第 5 章の静的圧縮軸力を受けている柱部材と同様の崩壊性状を示すことがわかった。また、細長比が 200 のアーチにエル・セントロ地震波が作用した場合、鉛直方向等分布荷重による静的な終局強度の $\frac{1}{2}$ の静的荷重を載荷しているアーチは、エル・セントロ地震の 3 倍程度の地震によって崩壊した。また、エル・セントロ地震の動的効果によって、細長比が 200 のアーチの静的な終局強度は 10 % 程度低下することがわかった。

第 7 章 結 論

本研究で明らかにされたおもな結果を総括している。

審 査 結 果 の 要 旨

現在、橋梁構造物の静的強度設計は限界状態を基準にしたものに移行しつつある。しかし、風荷重や地震力などの動的荷重に対する限界設計は確立されるまでには至っていない。特に、橋梁構造のように比較的細長い構造物は、動的不安定性を有する 경우가多く、その動的終局強度を明らかにすることが急がれている。本論文は、圧縮力を受ける基本的橋梁構造である柱部材およびアーチの動的終局強度を明らかにすることを目的として行なった研究の成果をまとめたものであり、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、橋梁構造および部材の動的終局強度を求めるために必要な、幾何学的非線形および材料非線形を考慮した動的応答解析を行なうための、一般的な数値計算法を導出している。また、鋼材のバウシinger効果の影響を考慮した応力・ひずみ関係を使用した数値計算法をも示している。

第3章では、第2章で示した動的応答計算により動的弾塑性非線形応答解析を行なう際に生じる誤差を解析的に求められる解と比較検討し、多自由度系での一般的な性質を示すと共に、本解析法は十分な精度で動的終局強度が求められることを示している。以下の結果は、確立された動的弾塑性応答解析法のない現在、極めて有用な知見を与えている。

第4章では、柱部材が周期性軸力を受けてパラメトリック共振現象を示す場合の動的挙動を解析し、動的強度に及ぼす柱部材の細長比、静的圧縮軸力、鋼材の応力・ひずみ関係はどの影響かを検討し、周期性軸力を受ける柱部材の基礎的な動的強度特性を明らかにしている。

第5章では、静的圧縮軸力を受けている柱部材に軸直角方向周期性加速度が作用した場合の基礎的な動的強度特性を明らかにしている。静的圧縮軸力が動的崩壊過程に及ぼす影響を、基本的モデルによって解析的に考察し極めて有用な知見を導き出している。

第6章では、静的な鉛直方向等分布荷重が載荷されているアーチが橋軸方向周期性加速度を受ける場合について、アーチの動的強度特性を明らかにし、終局強度に関する基礎的な資料を与えると共に、地震力による崩壊過程も検討し、アーチの耐震設計を考える上で必要な事項を明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は周期性荷重を受ける圧縮部材および構造の動的応答性状、崩壊性状を検討し、動的終局強度特性を明らかにしたものであり、橋梁工学および土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。